

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-078749  
 (43)Date of publication of application : 14.03.2000

(51)Int.CI. H02J 3/00  
 G05B 11/36  
 G05B 13/04  
 // H02P 9/00

(21)Application number : 10-259100

(71)Applicant : MITSUBISHI CHEMICALS CORP

(22)Date of filing : 31.08.1998

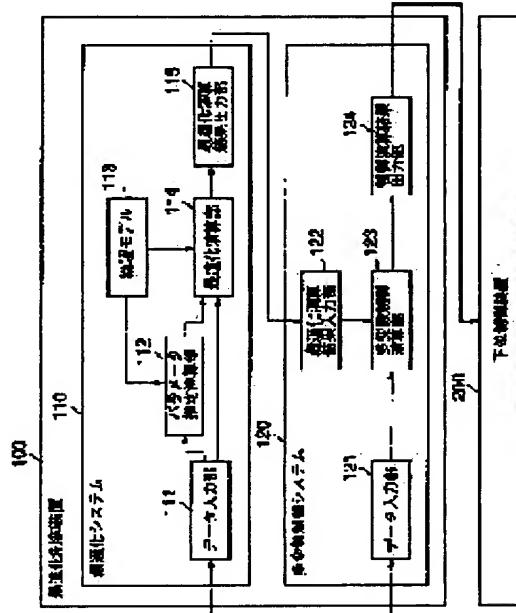
(72)Inventor : FUJITA KAORU  
 EMOTO GENICHI  
 NAKAGAWA SEIJI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING OPTIMUM OPERATION OF POWER PLANT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To carry out the optimizing control of each power-generation element by multivariable-model prediction control, by estimating a parameter incapable of being directly measured on the basis of the physical models of the power-generation elements and the quantity of state of an input process, and determining optimum-load distribution minimizing the cost of the whole power-plant.

**SOLUTION:** In an optimizing arithmetic section 114 in an optimizing system 110, optimizing arithmetic operation for minimizing the running cost of the whole power-plant is conducted on the basis of the quantity of the state of the power-plant, a parameter estimated by a parameter estimation arithmetic section 112 and the physical model 113 of the power-plant by a mathematical programming method. In a multivariable control system 120, on the other hand, the optimum load of a boiler and the load of a turbine taken in by an optimizing arithmetic-result input section 122 are taken in by a multivariable control operation section 123, and set as the set values of control operation. In a multivariable control operation section 123, the quantities of states of processes are taken in as a control variable, a disturbance variable and an operation variable, and multivariable control is conducted while using optimizing arithmetic results as set values.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**English Translation of the Relevant Parts**

**Japanese Unexamined Patent Publication No. 2000-78749**

**[Claim 1]**

An optimal control method of a power plant having paralleled multiple elements for power generation for controlling the multiple elements for power generation by optimal load distribution, the method comprising:

estimating parameters related to characteristics and status of elements for power generation, which cannot be directly measured, among parameters necessary for operation of the optimal load distribution for each of the multiple elements for power generation by an operation based on physical model of the elements for power generation and state quantity of inputting process,

determining the optimal load distribution for each of the elements for power generation to minimize cost of a whole power plant using the parameters for each of the elements for power generation obtained, and

controlling each of the elements for power generation.

**[0001]**

**[Field of the Invention]**

The present invention relates to an optimal operation control method and an optimal operation controller which effectively controls a power plant for supplying energy such as electricity or vapor to factories, etc. In particular, the invention provides an effective means to optimize load distribution between boilers or turbines placed in parallel when the power plant operates multiple boilers or turbines in parallel.

4  
2~3

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-78749

(P2000-78749A)

& -78749

2~

(43) 公開日 平成12年3月14日 (2000.3.14)

(51) Int.Cl. H 02 J 3/00	識別記号	F I H 02 J 3/00	テーマコード*(参考) B 5 G 0 6 6 G 5 H 0 0 4 P 5 H 5 9 0
G 05 B 11/36 13/04		G 05 B 11/36 13/04	
// H 02 P 9/00		H 02 P 9/00	Z

審査請求 未請求 請求項の数4 FD (全7頁)

(21) 出願番号 特願平10-259100

(22) 出願日 平成10年8月31日 (1998.8.31)

(71) 出願人 000005968  
三菱化学株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目5番2号

(72) 発明者 藤田 薫  
岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学  
株式会社水島事業所内

(72) 発明者 江本 源一  
岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学  
株式会社水島事業所内

(74) 代理人 100070600  
弁理士 横倉 康男

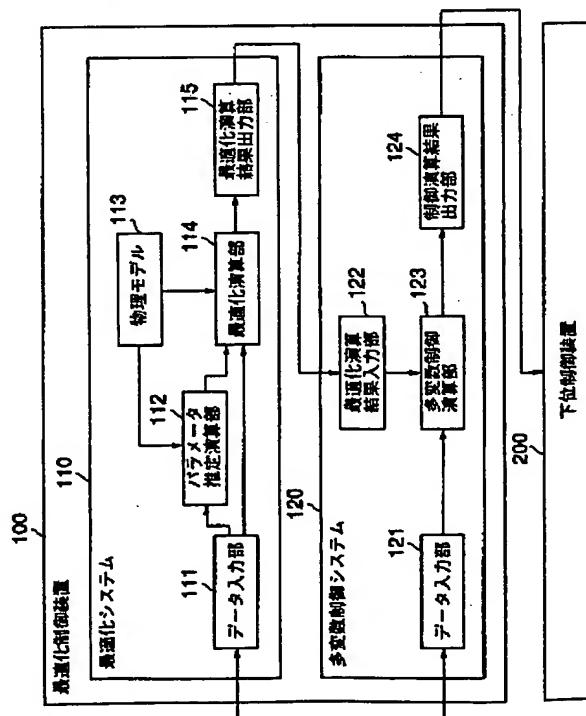
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発電プラントの最適化制御方法及び最適化制御装置

(57) 【要約】

【課題】 時々刻々と変化する蒸気、電気の需要変化に  
対応してボイラ、タービンを常に最適な状態で運転できる  
よう発電プラントを効率的に制御する最適化制御方法  
及び装置を提供する。

【解決手段】 並列化された複数の発電要素を有する発  
電プラントにおいて、該複数の発電要素を最適負荷配分  
により制御する最適化制御方法であって、上記複数の発  
電要素の各々に対する最適負荷配分の演算に必要なパラ  
メータのうち、直接測定できない発電要素の特性や状態  
に関わるパラメータを、発電要素の物理モデルと入力ブ  
ロセス状態量とに基づき演算により推定し、得られた各  
発電要素のパラメータを用いて、発電プラント全体のコ  
ストを最小にする各発電要素に対する最適な負荷配分を  
決定して各発電要素を制御することを特徴とする発電プ  
ラントの最適化制御方法。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】並列化された複数の発電要素を有する発電プラントにおいて、該複数の発電要素を最適負荷配分により制御する最適化制御方法であって、

上記複数の発電要素の各々に対する最適負荷配分の演算に必要なパラメータのうち、直接測定できない発電要素の特性や状態に関わるパラメータを、発電要素の物理モデルと入力プロセス状態量に基づき演算により推定し、得られた各発電要素のパラメータを用いて、発電プラント全体のコストを最小にする各発電要素に対する最適な負荷配分を決定して各発電要素を制御することを特徴とする発電プラントの最適化制御方法。

【請求項2】請求項1において、並列化された複数の発電要素には、複数のボイラと複数のタービンが含まれることを特徴とする発電プラントの最適化制御方法。

【請求項3】並列化された複数の発電要素からなる発電プラントの最適化制御装置であって、

上記複数の発電要素の各々に対する最適負荷配分の演算に必要なパラメータのうち、直接測定できない発電要素の特性や状態に関わるパラメータを、発電要素の物理モデルと入力プロセス状態量に基づき演算により推定し、得られた各発電要素のパラメータを用いて、発電プラント全体のコストを最小にする各発電要素に対する最適な負荷配分を決定する最適化システムと、

上記最適化システムで決定された各発電要素に対する最適な負荷配分と入力プロセス状態量とを用いて、多変数モデル予測制御により各発電要素に対する制御量を求め、設定を行なう多変数制御システムと、を備えていることを特徴とする発電プラントの最適化制御装置。

【請求項4】請求項3において、並列化された複数の発電要素には、複数のボイラと複数のタービンが含まれることを特徴とする発電プラントの最適化制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気や蒸気等のエネルギーを工場等に供給する発電プラントを効率的に制御する最適化制御方法及び最適化制御装置に関する。本発明は特に、発電プラントが複数のボイラやタービンを並列運転するものである場合に、並列のボイラ間やタービン間での負荷配分を最適化するための有効な手段を提供する。

## 【0002】

【従来の技術】図5は、石油化学工場等で採用されている発電プラントの一例の構成図であり、重油や燃料ガス等を燃料とするボイラ1、2と、蒸気及び電気を発生するタービン3、4と、発電専用の復水タービン5、エネルギーを電気に変換する発電機6、7、8と、ボイラ主蒸気母管20と、工場23に蒸気及び電気を供給する蒸気母管21、電気母線22とを有している。

【0003】この発電プラントの一部にはPID制御装

置が設けてある。すなわち、ボイラ主蒸気圧力を制御するPID制御装置13、ボイラ2の燃料流量を制御するPID制御装置14、蒸気圧力を制御するPID制御装置15、タービン4の蒸気流量を制御するPID制御装置16、発電機8の発電量を制御するPID制御装置17が設けてあり、これらによってエネルギーの需給バランスを保つようしている。なお、図を分りやすくするために、ボイラやタービンに対するPID制御装置は一部のもののみが示されている。

【0004】また、ボイラの負荷配分は、運転員が燃料流量を制御するPID制御装置14の設定値を手動で調整することによってなされ、タービンの負荷配分は蒸気流量を制御するPID制御装置16の設定値を手動で調整することによってなされ、電力会社からの受電量の調整は発電量を制御するPID制御装置17の設定値を手動で調整することによってなされている。このような手動調整の際に、プラント全体としての経済性を考慮した最適な運転指針を定期的に運転員に提示することが試みられている(例えば、Steam Balance Optimization in Chemical Plant, in Proceedings of IFA C Symposium ADCHEM'94(1994))。これは、プラントの線形モデルをもとに最適計算を実施するが、その結果を基にした運転調整は運転員に委ねられていた。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記制御システムでは次の3つの問題が発生した。第一には、発電プラント全体としての経済性を考慮し、運転員が時々刻々と変化する蒸気、電気の需要変化に応じボイラ、タービンを常に最適な状態で運転すべく頻繁に調整することは精神的疲労が大きく、きわめて困難であり、ラフな運転とならざるを得なかった。第二には、発電プラント全体の経済性を評価するモデルは、過去の実績データをもとに得られた線形モデルであったため、プラントの非線形特性を考慮できず運転条件が変化すると、真の最適運転条件から乖離することがあった。第三には、ボイラ1、2及びタービン3、4、5は、ボイラ主蒸気母管20、蒸気母管21を介して密接に関連しあっていること、発電機6、7、8はタービン3、4、5にそれぞれ依存すること、また受電量と発電量が電気母線を介して関連していることから、発電プラントのそれぞれの制御システムが相互に干渉するため発電プラント全体として電気、蒸気の需給バランスの変動を短時間のうちに吸収することはきわめて困難であった。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明は、ボイラやタービンなどの並列化された複数の発電要素からなる発電プラントにおいて、複数の発電要素の各々に対する最適負荷配分を自動的に演算して

制御を行なうようにするものである。この場合、最適負荷配分演算では、タービン発電機の損失パラメータや熱交換器の汚れ係数などのように、プラントからは直接測定できない発電要素の特性や状態に関わるパラメータが必要となる。本発明はこれらの直接測定できないパラメータを、発電要素の物理モデルと入力プロセス状態量に基づき演算により推定し、得られた各発電要素のパラメータを用いて、発電プラント全体のコストを最小にする各発電要素に対する最適な負荷配分を決定する。この決定された最適な負荷配分と入力プロセス状態量を用いて、多変数モデル予測制御を行なうことにより、各発電要素を最適に制御する。本発明においては、時々刻々と変化する蒸気、電気需要に応じ運転員の能力に左右されることなく、発電プラント全体としての運転効率の向上が可能となる。

## 【0007】

【実施例】以下、本発明の一実施例について図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施例を示す最適化制御装置の構成図である。図において、最適化制御装置100は、機能上大別して最適化システム110及び多変数制御システム120からなる。最適化システム110は、データ入力部111、パラメータ推定演算部112、物理モデル113、最適化演算部114、最適化演算結果出力部115により構成されている。多変数制御システム120は、データ入力部121、最適化演算結果入力部122、多変数制御演算部123、制御演算結果出力部124により構成されている。

【0008】データ入力部111は、発電プラントの状態量をリアルタイムに入力するためのもので、入力された状態量はパラメータ推定演算部112及び最適化演算部114に供給される。パラメータ推定演算部112は、運転条件の変化により変化する発電プラントの物理モデル113のパラメータを推定するもので推定されたパラメータは最適化演算部114に供給される。物理モデル113は、発電プラントのボイラ、タービン等の物質収支、熱収支等から構成されるモデルでありパラメータ推定演算部112及び最適化演算部114にて利用される。

【0009】最適化演算部114は、データ入力部111及びパラメータ推定演算部112より供給されるデータと発電プラントの物理モデル113をもとに、発電プラント全体の運転コストが最小となる最適化演算を実施するものであり、最適化演算結果は最適化演算結果出力部115に供給される。最適化演算結果出力部115

は、多変数制御システム120における最適化演算結果入力部122に供給される。

【0010】データ入力部121は、発電プラントの状態量をリアルタイムに入力するためのもので、入力された状態量は多変数制御演算部123に供給される。最適化演算結果入力部122は、最適化演算結果出力部115よりデータを受け取り、多変数制御演算部123に供給するためのものである。多変数制御演算部123は、データ入力部121及び最適化演算結果入力部122より得たデータを用い、多変数制御演算を行い、演算結果を制御演算結果出力部124に供給するものである。制御演算結果出力部124は、制御演算結果を下位制御装置200に供給するためのものである。

【0011】図2は、図5で説明した石油化学工場等で採用されている発電プラントの一例に図1の最適化制御装置を適用した場合の実施例を示す図である。以下、図1及び図2を参照して詳細に説明する。図2に示すような構成によると、最適化システム110においては、蒸気、電気の需給バランスを満たし、しかも発電プラント全体として経済的に最適なボイラ1、2の負荷配分及びタービン3、4、5の負荷配分が算出される。

【0012】すなわち、図1の最適化システム110における最適化演算部114では、数理計画法により発電プラントの状態量、パラメータ推定演算部112で推定されたパラメータ、及び発電プラントの物理モデル113をもとに発電プラント全体の運転コストを最小とするための最適化演算を行う。一般的に発電プラント全体の物理モデルは大規模な非線形方程式となるため、大規模非線形問題を比較的効率的に解くことが知られている逐次二次計画法を適用したが、該数理計画法以外の手法でも適用可能である。

【0013】発電プラントの物理モデル113は、ボイラ、タービン等の各構成機器について物質収支、熱収支等からなる方程式で構成されている。例えばボイラの物理モデルの場合は、熱交換器の配置や数に応じて異なるモデルが用意される。しかし、熱交換器自体は汎用的なモデルで表現し、能力の相違はパラメータで与える。またタービンの場合は、タービンの段数によってモデルは異なるが、一つの段は汎用的なモデルによって共通化されている。一例として、タービンの物理モデルについて説明する。

【0014】タービンの各段に関する物理モデルは、タービン通過蒸気が過熱状態の時、次に示す式(1)～(7)で記述される。

$$P_{\text{out}} = \eta * F * (H_{\text{in}} - H_{\text{sent}}) + \beta \quad (1)$$

$$\eta = f_1(F) \quad (2)$$

$$H_{\text{sent}} = f_2(P_{\text{out}}, T_{\text{sent}}) \quad (3)$$

$$S_{\text{in}} = S_{\text{out}} \quad (4)$$

$$S_{\text{in}} = f_3(P_{\text{in}}, T_{\text{in}}) \quad (5)$$

$$S_{\text{out}} = f_3(P_{\text{out}}, T_{\text{sent}}) \quad (6)$$

$$H_{in} = f_4 (P_{in}, T_{in})$$

【0015】ここで、 $P_{ow}$ はタービン発電機出力、 $\eta$ はタービン効率、 $F$ はタービン段を通過する蒸気流量、 $H_{in}$ はタービン段入口蒸気のエンタルピ、 $H_{isent}$ はタービン段出口において等エントロビ変化したと仮定した時のエンタルピ、 $\beta$ は発電機損失パラメータ、 $P_{in}$ 、 $P_{out}$ はそれぞれタービン段入口、出口蒸気の圧力、 $T_{in}$ はタービン段入口蒸気の温度、 $T_{isent}$ はタービン段出口において等エントロビ変化したと仮定した時の蒸気温度、 $S_{in}$ 、 $S_{out}$ はそれぞれタービン入口、出口における蒸気のエントロビを表す。

【0016】タービン効率 $\eta$ は、タービンの設計データあるいはプロセス状態量の実績データを解析することによって得られ、蒸気流量 $F$ の非線形関数で表現される。エンタルピ $H_{in}$ 、 $H_{isent}$ 及びエントロビ $S_{in}$ 、 $S_{out}$ はいずれも蒸気の温度、圧力の非線形の関数で表現される。発電機損失パラメータ $\beta$ はタービン入口、出口における蒸気のエンタルピ落差を電気に変換する際の効率を示すパラメータである。なお、 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ はいずれも非線形関数を表す。

【0017】パラメータ推定演算部112においては、ボイラやタービンごとにリアルタイムに入力されるプロセスの状態量と物理モデル113をもとにパラメータを推定する。該パラメータは、例えばプロセス状態量をもとに算出される式(1)で示されるタービン発電機の損失パラメータ $\beta$ やプラントの運転状況により変化する熱交換器の汚れ係数などである。

【0018】このように推定された各ボイラやタービンに関するパラメータは最適化演算部114にて最適化演算に使用されるため、最適化演算結果はリアルタイムに変化するプロセス状態を反映した結果となっている。最適化演算結果出力部115は、最適化演算部114にて算出された最適なボイラ1、2の負荷及びタービン3、4、5の負荷を多変数制御システム120に出力する。

【0019】一方、多変数制御システム120は、発電プラントの動特性に基づき最適化システム110にて算出された経済的に最適な運転条件を短時間に実現するとともに、蒸気、電気の需給バランスの変動を短時間に吸収するように制御する。すなわち、最適化演算結果入力部122にて取り込まれる最適なボイラ1、2の負荷及びタービン3、4、5の負荷は多変数制御演算部123に取り込まれ、制御演算の設定値として設定される。多変数制御演算部123では、データ入力部121より供給されるプロセス状態量を制御変数、外乱変数、操作変数として取り込み、最適化演算結果入力部122に取り込まれる最適化演算結果を設定値として多変数制御演算を行う。

【0020】発電プラントにおけるボイラ、タービン等の制御は相互干渉性があり、常に電気、蒸気の需要変動による外乱の影響を受けることを考慮し、相互干渉のあ

$$(7)$$

る多変数システムにおける設定値変更、外乱除去の性能に優れている多変数モデル予測制御を適用した。多変数制御演算結果は、多変数制御演算結果出力部124を介して、下位制御装置200のPID制御装置14、16、17の設定値として供給される。

【0021】図3に、前述した式(1)～(7)で示されるタービンの物理モデルを用いてパラメータ推定を行なう場合の、パラメータ推定演算処理の概略フローを示す。図3において、パラメータ推定演算部112は、タービンのパラメータ推定を行なう際、物理モデル113からパラメータ推定に必要な式(1)～(7)等を取り込むとともに、データ入力部111から、リアルタイムで変化するプロセスデータ $F$ 、 $P_{in}$ 、 $P_{out}$ 、 $T_{in}$ 、 $P_{ow}$ 等を入力する。

【0022】パラメータ推定演算部112は、入力したプロセスデータについて式(1)～(7)等からなる連立方程式を解いてパラメータ値を決定する。パラメータ推定演算部112は、発電プラント内のボイラ、タービン等の各発電要素についてパラメータ推定を行ない、それぞれの推定パラメータ値を最適化演算部114に出力する。最適化演算部114は、パラメータ推定演算部112が推定したパラメータ値とデータ入力部111から入力したプロセスデータ、及び物理モデル113から取り込んだ発電プラントの物理モデルを用いて、発電プラント全体としての運転コストが最小になるような最適化演算を行なう。最適化演算に用いられるコスト計算式は、ボイラ、タービン、ボイラの給水予熱系、蒸気配管系などの、発電プラント内の各部のモデルを等式制約として表現し、運転コストを最小化するような評価関数を用いた最適化問題に定式化して解く。例えば、ある発電プラントの場合には、12,000もの膨大な等式制約を組み合わせたものとなる。

【0023】図1に示される最適化システム110及び多変数制御システム120の各機能は、それぞれプログラムによって実現されるが、市場で入手可能な一部の汎用パッケージソフトを利用して構築することができる。以上のように、本発明により最適化システム110及び多変数制御システム120からなる最適化制御装置を構成することにより、制御性能が向上し、しかも発電プラント全体としての最適化を図ることができた。図4は、その一例として従来の手動調整の途中で本発明による最適化制御を適用した場合の受電量の推移を示したものであるが、最適化制御投入後は格段に制御性能が向上していることが見られる。以上、本発明を図2に示す発電プラントの一例に適用した場合について説明したが、本発明は他の任意の発電プラントにも適用できることは勿論である。

【0024】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、時々刻々

と変化する蒸気、電気需要に応じ運転員の能力に左右されることなく、発電プラント全体としての運転効率の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施例を示す最適化制御装置の構成図である。

【図2】発電プラントに本発明の最適化制御装置を適用した実施例システムの構成図である。

【図3】本発明によるパラメータ推定演算処理の概略フローである。

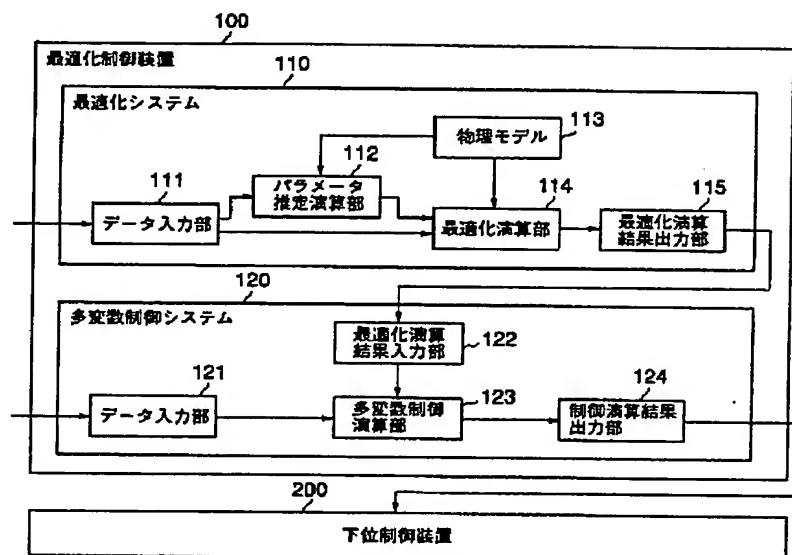
【図4】本発明による最適化制御の性能を示す受電量の推移グラフである。

【図5】発電プラントの一例の構成図である。

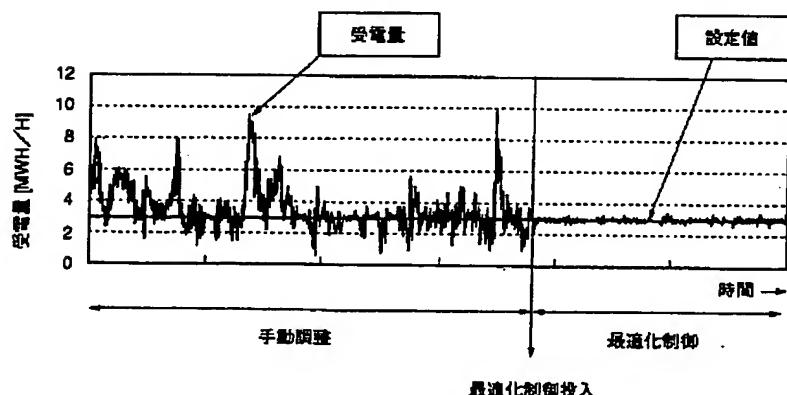
【符号の説明】

100	最適化制御装置
110	最適化システム
111	データ入力部
112	パラメータ推定演算部
113	物理モデル
114	最適化演算部
115	最適化演算結果出力部
120	多変数制御システム
121	データ入力部
122	最適化演算結果入力部
123	多変数制御演算部
124	制御演算結果出力部
200	下位制御装置

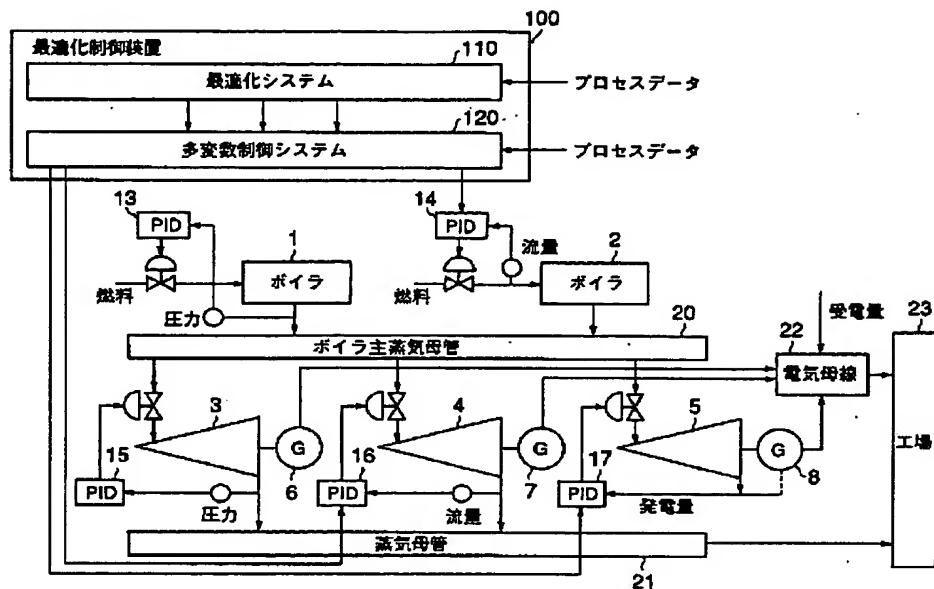
【図1】



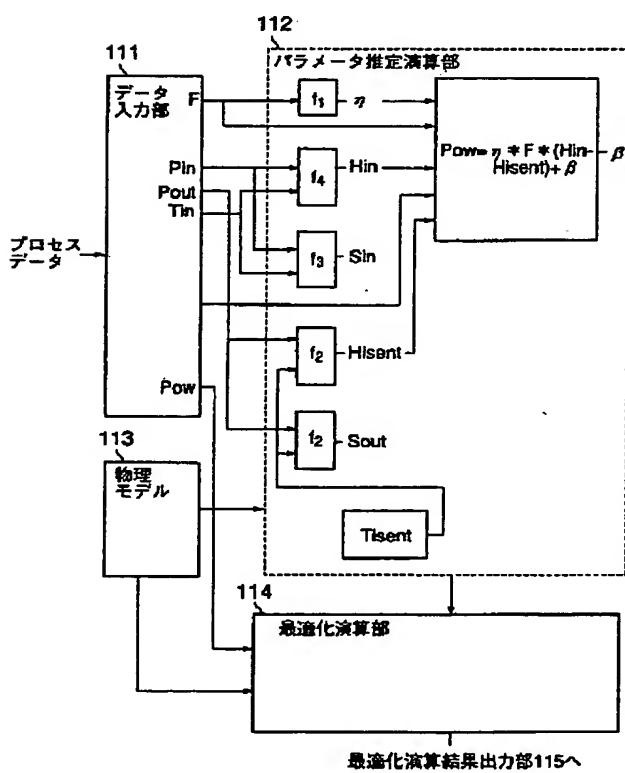
【図4】



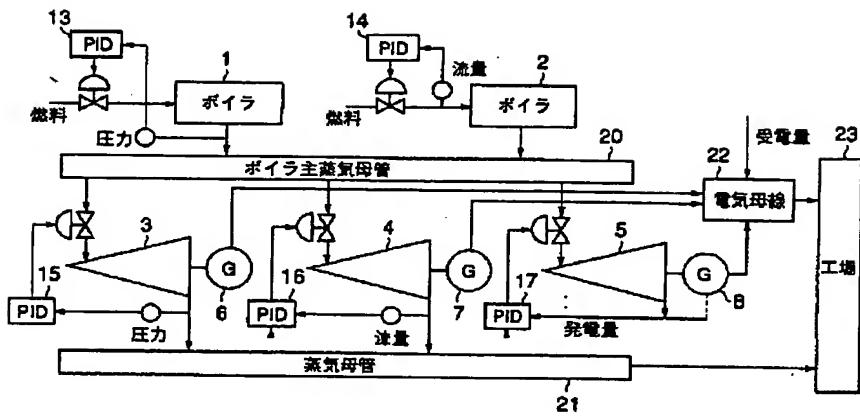
【図2】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 中川 誠司

岡山県倉敷市潮通3丁目10番地 三菱化学  
株式会社水島事業所内

Fターム(参考) 5G066 AA03 AA05 AE09  
 5H004 GA14 GA16 GB04 HA02 HA03  
 HA14 HA16 HB02 HB03 HB14  
 JA03 KA71 KB02 KB04 KB06  
 KC06 KC08 KC28 LA05 LA15  
 LA18  
 5H590 AA02 EA16 EB25 HA06 HA12  
 HA15 JA02 JA12 JA13 JA14